

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-330611

(43)Date of publication of application : 13.12.1996

(51)Int.Cl. H01L 31/04
// H01L 21/322

(21)Application number : 08-013891 (71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 30.01.1996 (72)Inventor : HISAMATSU TADASHI

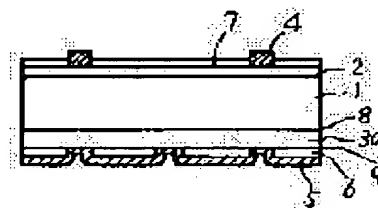
(30)Priority

Priority number : 07 72880 Priority date : 30.03.1995 Priority country : JP

(54) SI SOLAR CELL AND MANUFACTURE THEREOF

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a Si solar cell having improved radiation resistance for space use.

CONSTITUTION: A solar cell has a p-type Si substrate 1, an n-type diffused layer formed on a first main face of the substrate 1, and a high doping concn. p⁺-layer 3a formed on a second main face of the substrate 1 by implanting ions of a group III element having a larger atomic radius than that of Si atom. The group III element is preferably Al.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 8 - 3 3 0 6 1 1

(43) 公開日 平成 8 年 (1996) 12 月 13 日

(51) Int. Cl.

H01L 31/04

// H01L 21/322

識別記号

庁内整理番号

F I

H01L 31/04

21/322

技術表示箇所

A

J

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平 8 - 1 3 8 9 1

(22) 出願日 平成 8 年 (1996) 1 月 3 0 日

(31) 優先権主張番号 特願平 7 - 7 2 8 8 0

(32) 優先日 平 7 (1995) 3 月 3 0 日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 0 0 0 0 0 5 0 4 9

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号

(72) 発明者 久松 正

大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号

シャープ株式会社内

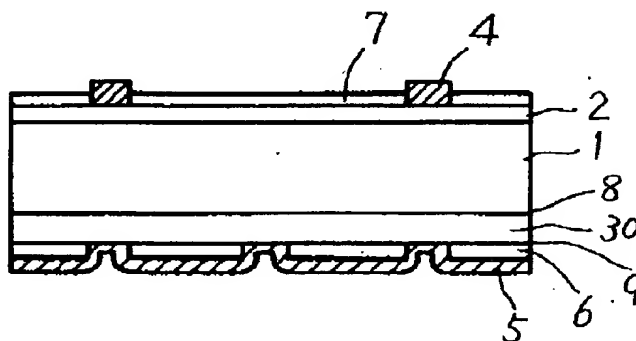
(74) 代理人 弁理士 深見 久郎

(54) 【発明の名称】 シリコン太陽電池セルとその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 耐放射線性が改善された宇宙用 S i 太陽電池セルを提供する。

【解決手段】 p 型シリコン基板 (1) と、その基板の第 1 主面側に形成された n 型拡散層 (2) と、基板 (1) の第 2 主面側で S i 原子より大きな原子半径を有する I I I 族元素のイオン注入によって形成された高ドーピング濃度の p⁺ 層 (3 a) とを含むことを特徴としている。I I I 族元素として、A l を用いることが好ましい。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 p 型シリコン基板と、

前記 p 型基板内においてその第 1 の主面側に形成された
n 型拡散層と、

前記 p 型基板内においてその第 2 の主面側で A l のイオン
注入によって形成された高ドーピング濃度の p' 層と
を含むことを特徴とするシリコン太陽電池セル。

【請求項 2】 p 型シリコン基板と、

前記 p 型基板内においてその第 1 の主面側に形成された
n 型拡散層と、

S i 原子より原子半径が大きな I I I 族元素のイオン注
入によって前記 p 型基板内の第 2 の主面側で少なくとも
部分的に形成された高ドーピング濃度の p' 層と、
前記第 2 主面上に形成されていて開口部を含む酸化膜
と、

前記酸化膜上に形成されていて前記開口部を介して前記
p' 層と電気的に接続されている電極とを含むことを特
徴とするシリコン太陽電池セル。

【請求項 3】 前記高ドーピング濃度の p' 層は前記第
2 主面の全域に形成されていることを特徴とする請求項
1 または 2 に記載のシリコン太陽電池セル。【請求項 4】 前記 I I I 族元素は A l であることを特
徴とする請求項 2 に記載のシリコン太陽電池セル。【請求項 5】 p 型シリコン基板内においてその第 1 の
主面側に n 型拡散層を形成し、

前記 p 型基板の第 2 の主面を覆うように酸化膜を形成
し、

S i 原子より大きな原子半径を有する I I I 族元素を前
記酸化膜を介してイオン注入することによって、前記 p
型基板内において前記第 2 主面側に高ドーピング濃度の
p' 層を形成し、

前記酸化膜に開口を形成し、

前記開口を介して前記 p' 層と電気的に接続された電極
を形成する工程を含むことを特徴とするシリコン太陽電
池セルの製造方法。

【請求項 6】 前記 I I I 族元素は A l であることを特
徴とする請求項 5 に記載のシリコン太陽電池セルの製造
方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 i 】

【発明の属する技術分野】本発明は太陽電池セルに関
し、特に、放射線や紫外線の照射強度の強い宇宙空間で
使用される人工衛星の電源として好ましく使用され得る
宇宙用シリコン太陽電池セルに関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】現在、人工衛星の電源として使用される
宇宙用太陽電池の最も一般的なものは、単結晶シリコン
(S i) を母材として用いた S i 太陽電池セルである。

近年、人工衛星の大型化、多機能化、および長寿命化の
傾向に伴って、宇宙用 S i 太陽電池セルに対しても高出
力化および耐放射線性の改善の要請が高まりつつある。
ここで、最近の宇宙用 S i 太陽電池セルにおいて用いら
れている高出力化および耐放射線性の改善のための手段
について説明する。

【 0 0 0 3 】 図 8 は、現在実用化されている B S F R

(Back Surface Field and Reflector) 型太陽電池セル
の基本構造を概略的な断面図で示している。図 8 の太陽
電池セルにおいては、 p 型 S i 基板 1 の受光面側である
前面に n 型拡散層 2 が熱拡散によって形成され、その基
板 1 の背面に p' 型層 (B S F 層) 3 が同様に熱拡散に
よって形成されている。さらに、 n 型拡散層 2 上には前
面電極 4 が形成され、 p' 型層 3 上には背面電極 5 が形
成されている。図 8 における p' 型層 3 はキャリアの収
集効率を向上させるように作用し、太陽電池セルの出力
を高めるように働く。図 8 において示されていないが、
p' 型層 3 と背面電極 5 との間に赤外光を反射させるた
めの背面反射層、前面上に入射光を効率よく受光するた
めの反射防止膜を設け、さらに、実際の使用に際しては
カバーガラスが貼付けられる。

【 0 0 0 4 】 図 9 は、図 8 の太陽電池セルの出力をさら
に高めるために開発された太陽電池セルを示している。
図 9 の太陽電池セルにおいて、図 8 のセルの部分と対応
する部分には同一の参照番号が付されている。すなわ
ち、図 9 の太陽電池セルの基本的構造は図 8 のものに類
似しているが、図 9 の太陽電池セルにおいては基板 1 の
背面側と前面側のそれぞれに背面酸化膜 6 と前面酸化膜
7 が設けられている。背面酸化膜 6 はパッシベーション
膜として働き、光吸収によって p 型基板 1 内で発生した
少数キャリア (電子) がセルの背面において多数キャリ
ア (正孔) と再結合することを防止する作用を生じる。
同様に、前面酸化膜 7 は基板 1 の前面側におけるパッシ
ベーション膜として働き、光吸収によって n 型拡散層 2
内で発生した少数キャリア (正孔) がセル前面において
多数キャリア (電子) と再結合することを防止する。す
なわち、図 9 の太陽電池セルにおいては、光吸収によ
って発生したキャリアの再結合を防止することによって、
図 8 のセルに比べてさらに高い出力を得ることができ
る。

【 0 0 0 5 】 図 1 0 は、高効率化を図るために開発され
たさらに他の太陽電池セルの構造を示している。図 1 0
の太陽電池セルは図 9 のものに類似しているが、図 1 0
の太陽電池セルにおいては、 p' 層 3 は基板 1 が背面酸
化膜 6 の開口を介して背面電極 5 と接触する領域の近傍
のみに形成されている。

【 0 0 0 6 】

【表 1】

セル	初期出力特性					電子線照射後の出力特性					α_s
	Voc(mV)	Isc(mA)	F.F.	Pmax(mW)	Pmax -Top	Voc(mV)	Isc(mA)	F.F.	Pmax(mW)	Pmax -Top	
(a)	605.0	166.0	0.792	79.5	76.6	507.0 (83.8%)	139.8 (84.2%)	0.780 (98.5%)	55.3 (69.5%)	52.4	0.76
(b)	661.0	176.5	0.751	87.7	86.7	516.4 (78.0%)	152.4 (86.1%)	0.756 (99.7%)	58.5 (67.0%)	57.6	0.72
(c)	621.7	173.7	0.763	82.4	75.1	514.5 (82.4%)	152.5 (88.2%)	0.772 (100%)	60.6 (73.3%)	54.6	0.87
(d)	645.4	176.2	0.770	87.6	86.1	544.1 (84.3%)	157.5 (89.4%)	0.770 (100%)	66.0 (75.3%)	63.1	0.74

【0007】表1中の太陽電池セル(a)と(b)は、それぞれ図8と図10の太陽電池セルに対応する初期出力特性と1MeVのエネルギーの電子を $1 \times 10^{15} \text{ e/cm}^2$ 照射した後の出力特性とを示している。すなわち、図10の太陽電池セル(b)は、図8のセル(a)に比較して、電子線照射の前後の双方において開放電圧 V_{oc} 、および短絡電流 I_{sc} が高く、曲線因子FFが若干低いにもかかわらず、初期特性の最大出力 P_{max} が約10%向上していることがわかる。

【0008】なお、表1における出力特性はAM0(大気圏外の太陽光)に相当する光を用いて測定され、また、動作温度 T_{op} における最大出力を表わす $P_{max} \cdot T_{op}$ (mW)以外は28℃の温度の下で測定された。さらに、電子線照射後の出力特性においてかっこ書で表わされた%の数値は電子線照射前の出力特性に対する保存率を表わし、符号 α_s は太陽光吸収率を表わしている。

【0009】次に、宇宙用Si太陽電池セルの耐放射線性について説明する。宇宙用太陽電池セルは、一般に、宇宙環境において高エネルギーを有する高密度の電子線、陽子線、中性子線、 α 粒子線、X線、紫外線等の照射を受け、太陽電池セルの半導体基板結晶中に空格子点、空格子点と格子間不純物原子が結合した複合中心、およびこれらの欠陥のクラスター等が形成される。これらの照射欠陥は、電気的にはキャリアの再結合中心として働き、少数キャリアのライムタイムや拡散距離を短くし、太陽電池セルの性能を劣化させるように作用する。このような照射欠陥による作用を抑制するために、宇宙用Si太陽電池セルには、従来から以下のような対策(A1)～(A3)が施されている。

【0010】(A1) 太陽電池セルがn-on-p型にされる。すなわち、本来的に電子の方が正孔よりもライムタイムや拡散距離が長いので、太陽電池セルをp-on-n型ではなくてn-on-p型にすることによって、照射欠陥による影響を比較的小さくすることができる。

【0011】(A2) 太陽電池セルにおける半導体基板の厚さが薄くされる。すなわち、半導体基板の厚さが薄くされれば、それに含まれる照射欠陥の絶対数が少なくなるので、それらの欠陥に捕獲される少数キャリアの

数をも減少させることができる。

【0012】(A3) 太陽電池セルにおけるpn接合が、半導体基板の前面から浅い位置に形成される。すなわち、薄くされた拡散層の内部で生成された少数キャリアの収集効率が高められる。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図9または図10に示されているような高出力の太陽電池セルにおいて、上述のような耐放射線性を向上させる対策(A1)～(A3)を施しても、十分満足し得る耐放射線性が得られない。たとえば、表1において、耐放射線性の評価の目安となる1MeVの電子線が $1 \times 10^{15} \text{ e/cm}^2$ 照射された後の太陽電池セルの出力特性が示されている。すなわち、図8に対応する従来型の太陽電池セル(a)では初期出力特性を100%として電子線照射後の最大出力 P_{max} の保存率は括弧書きで示されているように69.5%であるが、図10に対応する太陽電池セル(b)においては電子線照射後の最大出力 P_{max} の保存率は67.0%である。表1には示されていないが、図9に対応する太陽電池セルにおいても、これとほぼ同様の電子線照射後の最大出力 P_{max} の保存率である。

【0014】このような先行技術における課題に鑑み、本発明は、耐放射線性が十分に改善された高出力の宇宙用Si太陽電池セルを提供することを目的としている。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の1つの態様によれば、シリコン太陽電池セルは、p型シリコン基板と、その基板内において第1の主面側に形成されたn型拡散層と、基板内において第2主面側でアルミニウム(A1)のイオン注入によって形成された高ドーピング濃度のp'層とを含むことを特徴としている。このようなシリコン太陽電池セルにおいては、後で詳述するように、イオン注入によって形成されたp'層中のA1が酸素と容易に結合するので、このp'層によってp型シリコン基板内の酸素が有効にゲッターリングされて耐放射線性が向上する。

【0016】本発明のもう1つの態様によれば、シリコン太陽電池セルは、p型シリコン基板と、その基板内において第1の主面側に形成されたn型拡散層と、Si原

子より大きな原子半径を有するIII族元素のイオン注入によって基板内の第2の主面側で少なくとも部分的に形成された高ドーピング濃度のp'層と、基板の第2主面上に形成されていて開口部を含む酸化膜と、その酸化膜の開口部を介してp'層と電氣的に接続されている電極とを含むことを特徴としている。このような酸化膜を有するシリコン太陽電池セルにおいては、従来では、紫外線照射などによってn型拡散層内などで発生したホットキャリアがSiと酸化膜との界面に到達してその界面に損傷を与えることに起因すると考えられるキャリアの再結合の増加という問題があった。しかし、本発明のこの態様によるシリコン太陽電池セルにおいては、後で詳述するように、p型基板領域からイオン注入によって形成されたp'型領域への境界近傍において、ドーピング濃度が急峻に変化しているとともに原子レベルの歪みが形成され、ホットキャリアは、そこを通過する際にそのエネルギーが著しく減少させられるので、界面に与えられる損傷が抑制され、その結果、キャリアの再結合が防止され、紫外線照射などによる太陽電池セルの出力低下を回避することができる。

【0017】本発明のさらに他の態様によれば、シリコン太陽電池セルはp型シリコン基板の背面の全域にわたってAlのイオン注入によってp'層が形成されている。したがって、Alによる酸素のゲッタリングが基板背面の全域において行なわれ、太陽電池セルの耐放射線性が基板背面の全域にわたって改善されることになる。

【0018】本発明のさらに他の態様によれば、シリコン太陽電池セルの製造方法は、p型シリコン基板内においてその第1の主面側にn型拡散層を形成し、p型基板の第2の主面を覆うように酸化膜を形成し、Si原子より大きな原子半径を有するIII族元素を酸化膜を介してイオン注入することによってp型基板内において第2主面側に高ドーピング濃度のp'層を形成し、酸化膜に開口を形成し、そしてその開口を介してp'層と電氣的に接続された電極を形成する工程を含んでいることを特徴としている。このシリコン太陽電池セルの製造方法においては、p'層の形成のためのイオンは酸化膜を形成した後にその酸化膜を通してp型基板内へ注入されるので、p型基板と酸化膜との間の界面はイオン注入前の比較的良好な状態を維持することができる。

【0019】

【発明の実施の形態】本発明の最も重要な特徴は、高効率の宇宙用Si太陽電池において、シリコン基板の背面側にAlなどのIII族元素をイオン注入することによって、次の2つの効果(B1)および(B2)を得ることにある。

【0020】(B1) AlなどのIII族元素によって、Si基板から酸素をゲッタリングすることができ、これによってシリコン太陽電池セルの耐放射線性を向上させることができる。

【0021】(B2) キャリアの効率的な収集のために設けられるp'領域とp型基板との界面近傍において、イオン注入によってドーピング濃度を急峻に変化させるとともに、原子レベルの歪みが形成される。この原子レベルの歪みはホットキャリアのエネルギーを著しく減少させるように作用するので、紫外線照射などによるシリコン太陽電池セルの出力低下を回避させることができる。

【0022】すなわち、本発明によれば、耐紫外線性と耐放射線性に優れた宇宙用Si太陽電池セルを提供することができる。

【0023】図1は、本発明の実施の形態の一例によるBSFR型の宇宙用Si太陽電池セルを概略的な断面図で示している。図1の太陽電池セルにおいては、p型Si基板1の受光面側である前面にn型拡散層2が形成され、基板1の背面にp'型層(BSF層)3aが形成されている。そして、p'型層3a上に背面酸化膜6が設けられ、n型拡散層2上に前面酸化膜7が設けられている。さらに、基板の前面側と背面側に、それぞれ前面電極4と背面電極5が形成されている。ここで、p'型層3aとp型Si基板1との界面8の近傍において、ドーピング濃度が急峻に変化させられている。さらに、p'型層3aとp型Si基板1との界面8の近傍およびp'型層3a内では、原子レベルの歪みが形成されている。このようなp'型層3aとp型Si基板1との界面8近傍における急峻なドーピング濃度変化と原子レベルの歪みは、後でさらに詳しく述べられるように、Siより大きな原子半径を有するイオン(たとえば、Al)をp型Si基板1内へイオン注入してp'型層3aを形成することによって実現され得る。なお、Siの原子半径は1.17Åであるのに対して、Alの原子半径は1.41Åである。

【0024】次に、図1の太陽電池セルにおいて耐放射線性が著しく改善される理由について説明する。

【0025】まず、放射線等の照射によって太陽電池セルの出力が低下する原因として、主に2つの理由が考えられる。すなわち、その1つは高エネルギー粒子である電子線等による太陽電池セルへの直接的影響であり、もう1つは光子である紫外線等によるセルへの間接的影響である。

【0026】太陽電池セルへの直接的影響とは、従来技術の説明でも述べられたように、太陽電池セルが電子線等で照射されることによって、セル母材の半導体結晶中に空格子点、空格子点と格子間不純物原子とが結合した複合中心、さらにはこれらの欠陥のクラスタ等が形成され、これらの格子欠陥がキャリアの再結合中心として働くために太陽電池出力を有効に取出せなくなることを行う。

【0027】また、紫外線による間接的影響としては、

で、P. E. Gruenbaum らによって述べられているように、太陽電池セルに比較的高いエネルギーを有する紫外線等が照射された場合に、シリコン基板内にホットキャリアが発生し、このホットキャリアがSi/SiO₂界面の結合に損傷を与えるという現象がある。そして、このSi/SiO₂界面の損傷部がキャリアの再結合中心となるので、SiO₂膜のパッシベーション効果が低下し、太陽電池セルの出力が低下する。

【0028】図6は、紫外線等による間接的影響を説明するためのエネルギーバンド構造図である。図6のエネルギーバンド構造は、図10の太陽電池セルにおいて半導体基板1と背面酸化膜6とが直接接触している位置における断面のバンド構造とホットキャリアの流れとを示している。符号E_cは伝導体の下端レベルを表わし、E_vは価電子体の上端レベルを表わし、そしてE_iはフェルミレベルを表わしている。また、半導体基板1と背面酸化膜6との界面における“-”印は、界面準位を表わしている。一般に、Si/SiO₂界面には、空乏領域が形成される。図6に示されているようなバンド構造を有する太陽電池セルが紫外線(UV)の照射を受ければ、主に前面近傍でホットキャリア(電子eおよび空孔h)が発生する。これらのホットキャリアは、高いエネルギーを維持しつつSi基板1を通してSi/SiO₂界面に達し、その界面の結合に損傷を与える。そして、この界面における損傷はキャリアの再結合中心として働く。すなわち、太陽光を吸収して発生した少数キャリアの電子がSi/SiO₂界面の再結合中心を介して多数キャリアの正孔と再結合する確率が増大することになり、光電変換によって生じた少数キャリアを出力として太陽電池セルの外部へ有効に取出すことが困難となる。すなわち、背面パッシベーションの効果がホットキャリアによって損なわれることになる。

【0029】本発明者は、上述の高エネルギー粒子によるセルへの直接的影響と光子による間接的影響に着目し、電子線等のエネルギー粒子による出力低下を回避し得るとともに、紫外線等の光子によって発生させられたホットキャリアがSi/SiO₂界面に到達するまでにそのエネルギーを減少させることによって界面においてキャリアの再結合中心を形成させない太陽電池セルを実現すべく種々の検討を行ない、図1の構造を有するシリコン太陽電池セルに想到した。すなわち、基板1の背面側にSi原子より大きな原子半径を有するAl等のIII族元素をイオン注入することによって、以下の2つの効果を得て上述のセルへの直接的影響と間接的影響の問題を解決することができる。

【0030】それらの効果の1つとして、Al等のIII族元素のイオン注入によって形成されたp⁺層3aがSi基板1から酸素をゲッタリングすることによって、太陽電池セルの耐放射線性を改善することができる。この根拠として、たとえば Semiconductors and Semimetals, vol. 11, Solar Cells ; Academic Press, pp. 154-

157 に、Si基板中の酸素が照射欠陥に関与し、酸素含有量が少なければ太陽電池セルの耐放射線性に優れることを示す記載が存在している。そこで、本発明者は、Alが酸素と結合しやすいことを利用するためにSi基板1内にAlを高濃度ドーピングさせることにより、Si基板1中の酸素が有効にゲッタリングされて太陽電池セルの耐放射線性が改善されるであろうと推定した。実際に、図8の太陽電池セルと同様の構造ではあるがp⁺層3がAl-Si合金層からなるセルを作製して実験したところ、表1中の(c)に示すように耐放射線性の評価の目安となる1 MeVの電子線を1×10¹⁴ e/cm²照射した後の最大出力P_{max}の保存率として73.3%という値を得た。これは、従来の太陽電池セルにおける最大出力P_{max}の保存率が67.0%~69.5%であることから明かなように、耐放射線性が向上したことを示している。

【0031】ここで、太陽電池セル(a)は高温(約1000℃)の炉の中でボロンを含むガス雰囲気中でp型Si基板1内へボロンを拡散させることによってp⁺層3が形成されるのに対して、この太陽電池セル(c)ではAlの粉末を含んだペーストをSi基板1に塗布して約400℃の炉の中で短時間焼成することによって厚いSi-Al合金層からなるp⁺層3が形成される。この結果、太陽電池セル(c)においては太陽光吸収率α_sがセル(a)および(b)に比べて上昇し、セル温度が高くなるという問題を生じる。したがって、動作温度における太陽電池セル(c)の最大出力P_{max}・T_{eff}は75.1 mWであって、セル(a)および(b)に比べて劣っている。他方、本発明の実施の形態の一例による図1の太陽電池セルにおいては、Al原子がイオン注入されるので、表1中のセル(c)におけるような分厚いSi-Al合金層からなるp⁺層3が形成されることはなく、セルの温度上昇の問題も生じない。

【0032】イオン注入によるもう1つの効果は、前にも述べたようにキャリアの効率的な収集のために設けられるp⁺層3aとp型基板1との界面8近傍において、p型基板1からp⁺層3にかけてドーピング濃度が急峻に変化する構造にされ得るとともに、原子レベルの歪みが形成され得ることにある。これによって、紫外線照射などによってn型拡散層2内などで発生したホットキャリアは、p型基板1からp⁺層3aへの界面8近傍を通過する際にエネルギーを失う。すなわち、p⁺層3aと酸化膜6との界面9がホットキャリアから保護されることになる。その結果、界面9中の損傷部でキャリアの再結合が生じるという問題が解消され、紫外線照射等による出力低下を回避することができる。

【0033】図7は、このイオン注入の効果を説明するための、図1の太陽電池セルにおけるエネルギーバンド構造とホットキャリアの流れとを示した図である。図7は

図 6 に類似しているが、図 7 のエネルギーバンド構造においてはイオン注入によって形成された p' 層 3 a のバンド構造が含まれている。図 7 において、 n 型 Si 基板 1 と p' 層 3 a との界面 8 は “+” 印で表わされている。

【0034】なお、図 6 と図 7 の説明文において、ホットキャリアの振る舞いと本発明の効果をわかりやすく説明するために、紫外線 (UV) によって生成されたホットキャリア (電子 e 、正孔 h) 自身が Si と酸化膜との界面において損傷を与えるがごとき表現を行なった。しかし、実際には太陽電池セルが動作しているときには Si 基板内に多数の電子 e と正孔 h が存在しているので、必ずしも発光したホットキャリアそれ自身が損傷を与えるのではなくてホットキャリアからエネルギーを受取った同種の別のキャリアが損傷を与えることが生じ得ることを付け加えておく。

【0035】なお、図 1 の太陽電池セルは本発明の実施の形態の一例にすぎず、本発明は他の種々の太陽電池セルにも適用し得ることは言うまでもない。たとえば、図 2 に示されているように、図 1 の太陽電池セルの受光面側にテクスチャー構造が導入されてもよい。次に、本発明による図 2 の太陽電池セルの製造方法について、その実施の形態の一例を図 4 および図 5 を参照して工程順に説明する。

【0036】まず、図 4 (A) に示されているように、 p 型シリコン基板 1 ($1 \times 10^{15} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ のキャリア濃度と $1 \sim 3 \Omega \text{cm}$ の抵抗率を有する) を所定の厚さ (約 $50 \sim 200 \mu\text{m}$) になるようにエッチングする。

【0037】図 4 (B) においては、基板 1 の前面に無反射表面形状 10 が形成される。この形状 10 は、たとえば基板 1 の表面に CVD によって堆積された SiO_2 膜を周知のフォトリソグラフ法で加工して、そしてアルカリ系のエッチャントでエッチング加工することによって実現され得る。

【0038】図 4 (C) においては、基板 1 の前面から V 族不純物 (リン等) を熱拡散させることによって n 層 2 が形成される。この場合、基板 1 の背面は、たとえば乾燥酸素中における熱酸化によって形成された厚い酸化膜 6 によって保護される。

【0039】図 4 (D) においては、 Si より大きな原子半径を有する III 族不純物 (ここでは Al) が酸化膜 6 を通して基板 1 の背面側にイオン注入される。このイオン注入が本発明における最も重要な特徴である。このとき、 p' 層 3 a の厚さは $1 \sim$ 数 μm 程度にされ、そこにおけるキャリア濃度は $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上にされる。このように Si より大きな原子半径を有する III 族不純物を基板 1 の背面側にイオン注入することによって、 p' 層 3 a と p 型基板 1 との界面 8 近傍においてドーピング濃度が急峻に変化するとともに原子レベルの歪みが形成される。紫外線照射等により n 型拡散層 2 内

等でホットキャリアが発生しても、そのホットキャリアは界面 8 近傍を通過する際にエネルギーを失うので、酸化膜 6 と p' 層 3 a との間の界面 9 における結合がホットキャリアによって損傷を受けることがなく、太陽電池セルの出力低下を回避することができる。

【0040】また、 p 型基板 1 内への Al 原子のイオン注入は酸化膜 6 が形成された後にその酸化膜 6 を通して行なわれるので、 p 型基板 1 と酸化膜 6 との界面 9 はイオン注入前の比較的良好的な状態を維持することができる。すなわち、イオン注入は酸化膜 6 の形成前に行なうことも可能であるが、その場合には高い不純物濃度を有する p' 層 3 a 上に酸化膜 6 が形成されることになる。一般に、酸化膜を形成しようとする基板は不純物濃度が低いほど、界面準位が少ない良好な界面特性を有する酸化膜 6 の形成が期待できるが、高い不純物濃度を有する p' 層 3 a 上に酸化膜を形成する場合には、理想的な酸化膜 6 の形成が困難となる。したがって、図 4 (D) に示されているように、 p 型基板 1 上に酸化膜 6 が形成された後に Al をイオン注入することが好ましい。

【0041】なお、上述のようなイオン注入法を用いる場合には、従来の熱拡散法を用いる場合のように p' 層 3 における高いキャリア濃度 (たとえば、 $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$) を必要としない。なぜならば、図 4 (D) の工程ではキャリアの再結合準位として働く界面準位が少ない Si / SiO_2 、界面 9 が形成されるので、十分な背面バッシベーション効果が期待でき、キャリア濃度を従来の場合ほどに高める必要がないからである。なお、図 4 (D) に示されているようなイオン注入によってもセルの背面にイオン照射損傷が生じ得るので、次の工程においてこの損傷の回復が行なわれる。

【0042】すなわち、図 5 (A) に示されているように、たとえば 600°C で数分間の RTA (ラピッド・サーマル・アニール) 法によってイオン注入による損傷の回復が行なわれる。ここで、この程度の熱処理が行なわれても、 p 型基板 1 と n 型層 2 との間の pn 接合や基板 1 と p' 層 3 a との界面 8 には影響が生じない。この RTA 法と同時に所定濃度の乾燥酸素を炉内に導入することによって、同ステップで前面酸化膜 7 を形成することができる。この前面酸化膜 7 の厚さは、たとえば $100 \sim 200 \text{\AA}$ にされる。

【0043】図 5 (B) においては、周知のフォトリソグラフ法を用いて、前面酸化膜 7 と背面酸化膜 6 のそれぞれの所定の位置に開口 11 と 12 が形成される。これらのエッチングは、ウェットエッチング、ドライエッチングのいずれをも用いることができる。

【0044】図 5 (C) においては、周知のフォトリソグラフィ法を用いて前面電極 4 が形成される。

【0045】そして、図 5 (D) において、背面酸化膜 6 および開口 12 を覆うように背面電極 5 が形成される。

【0046】この後に、図示されていないが、基板の前側面に反射防止膜を形成した後に熱処理が加えられ、そして所定の寸法に切り出されることによってペア・セル（裸のセル）が完成する。このペア・セルの受光面側に樹脂を介してカバーガラスを貼りつけることによって、カバーガラス付き太陽電池セルが得られる。

【0047】なお、以上の説明ではAl原子がイオン注入されたが、III族元素の他のイオン、たとえばGa（Siの原子半径の1.17Åより大きな1.25Åの原子半径を有する）等を用いることもできる。

【0048】図3は、本発明の実施の形態によるさらに他の例の太陽電池セルを示している。図3の太陽電池セルは図1におけるような酸化膜6および7を含んでおらず、見かけ上は図5の従来のものに類似している。すなわち、図3の太陽電池セルにおいてはSi/SiO₂界面がホットキャリアによって損傷されるという前述の問題（B2）を生じることにはないが、放射線照射によって出力劣化が生じるという前述の問題（B1）は存在する。したがって、図3の太陽電池セルにおいても、酸素と結合力の大きいAl等をイオン注入してp'層3aを形成することによって、耐放射線性の改善を図ることができる。なお、図3の実施の形態においてもイオン注入によって打込まれる原子としてAlが用いられたが、Si原子よりも大きな原子半径を有しかつ酸素との結合性が比較的高いIII族元素のたとえばGaを使用することもできる。

【0049】表1中の（d）は発明者が最近試作した図1の太陽電池セルの特性を表わしている。表1からわかるように、この太陽電池セル（d）の初期最大出力P_{max}は従来の高効率セル（b）と同等であり、電子線照射後の保存率はAlペーストを利用したセル（c）と比べても優れたものとなっている。また、太陽電池セル（d）においてはセル（c）における場合のように厚いSi-Al合金層3が形成されないため、太陽吸収率α_sをセル（c）に比べて下げることができ、電子線照射後の動作温度における最大出力P_{max}・T₀を向上させることができる。さらに、紫外線照射の影響については、太陽電池セル（d）においては700sun・hours（1sunは通常の太陽光の強度を表わす）の経過後の段階で出力特性の劣化がみられず、本発明の優れた効果が確認されている。

【0050】

【発明の効果】以上のように、本発明の1つの態様によれば、p型シリコン基板の背面側に形成されるp'層はAlのイオン注入によって形成される。したがって、Alは酸素と容易に結合するので、このp'層によってp型基板内の酸素が有効にゲッタリングされて、シリコン太陽電池セルの耐放射線性が改善される。

【0051】本発明の他の態様によれば、Si原子より大きな原子半径を有するIII族元素のイオン注入によ

って形成されたp'層とp型基板との界面近傍においてドーピング濃度が急峻に変化するとともに原子レベルの歪みが形成される。したがって、紫外線照射等によってn型拡散層内で発生したホットキャリアはこのp'層とp型基板との界面を通過する際にエネルギーを失い、p'層と酸化膜との界面がホットキャリアから保護されることになる。その結果、従来のp'領域と酸化膜との界面におけるホットキャリアによる損傷部で生じていたキャリアの再結合が防止され、シリコン太陽電池セルにおける紫外線照射等による出力低下が回避され得る。

【0052】本発明のさらに他の態様によれば、p'層がp型シリコン基板の背面の全領域に形成されているので、Alによる酸素のゲッタリングが基板背面の全域にわたって行なわれ、シリコン太陽電池セルの耐放射線性が十分に改善される。さらに、基板の背面全域がホットキャリアから保護されることになるので、太陽電池セルにおける紫外線照射等による出力低下を十分に回避することができる。

【0053】本発明のさらに他の態様によれば、p'型シリコン基板の背面に酸化膜を形成した後にその酸化膜を通してイオン注入することによってp'層が形成されるので、基板と酸化膜との間の界面はイオン注入前の比較的良好な状態を維持することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の一例によるシリコン太陽電池セルを示す概略的な断面図である。

【図2】本発明の実施の形態の他の例による太陽電池セルを示す断面図である。

【図3】本発明の実施の形態におけるさらに他の例による太陽電池セルを示す断面図である。

【図4】図2の太陽電池セルの製造工程を説明するための概略的な断面図である。

【図5】図4に続く製造工程を示す断面図である。

【図6】図9の太陽電池セルにおいて背面酸化膜が存在する位置における断面に沿ったエネルギーバンド構造を示す図である。

【図7】図1の太陽電池セルの断面に沿ったエネルギーバンド構造を示す図である。

【図8】従来の太陽電池セルの一例を示す概略的な断面図である。

【図9】従来の太陽電池セルの他の例を示す断面図である。

【図10】従来の太陽電池セルのさらに他の例を示す断面図である。

【符号の説明】

1 p型半導体基板

2 n型拡散層

3 拡散によって形成されたp'層

3a イオン注入によって形成されたp'層

4 前面電極

13

14

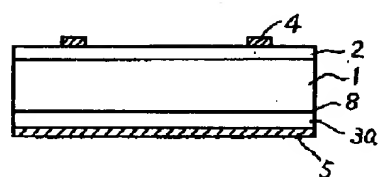
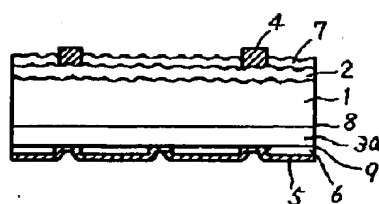
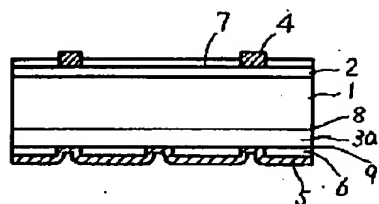
5 背面電極
6 背面酸化膜
7 前面酸化膜

8 p 型基板と p' 層との界面
9 p' 層と背面酸化膜との界面
11, 12 開口

【図 1】

【図 2】

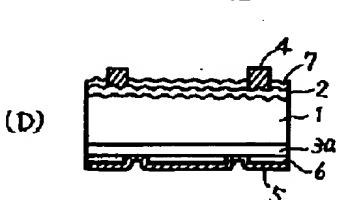
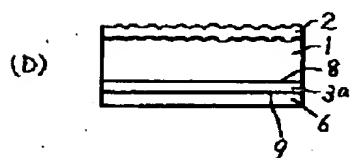
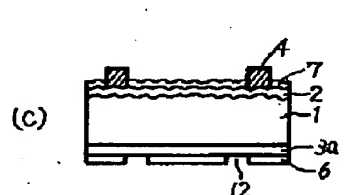
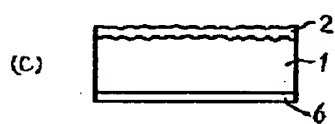
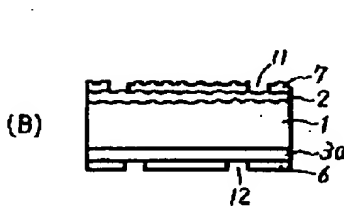
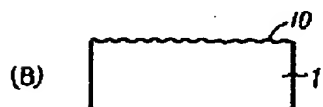
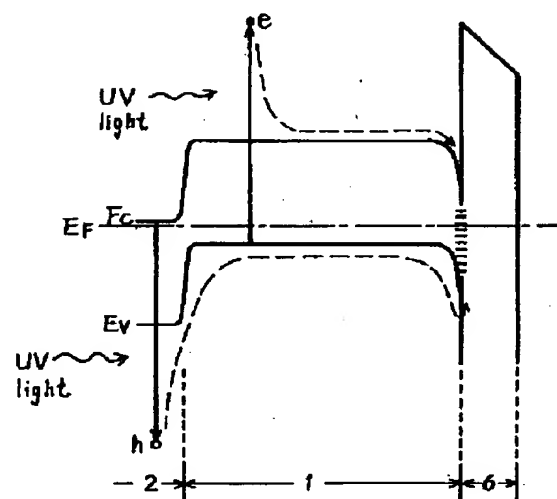
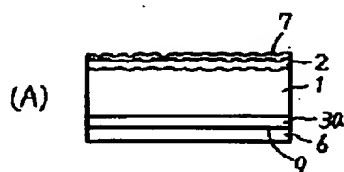
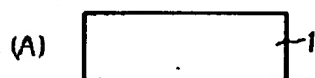
【図 3】



【図 4】

【図 5】

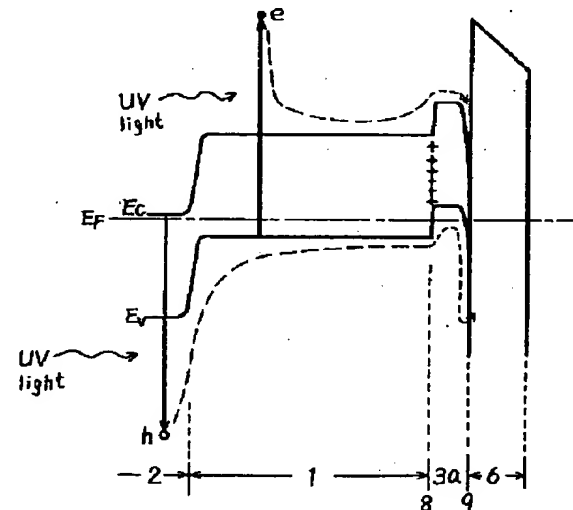
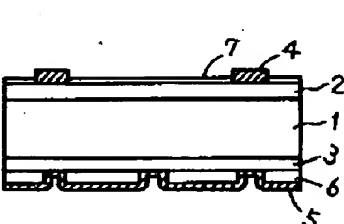
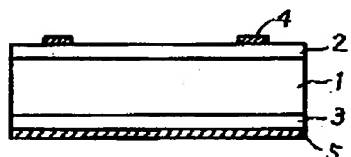
【図 6】



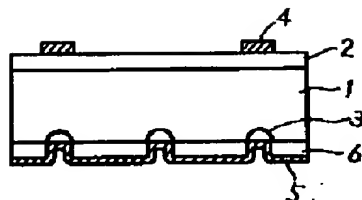
【図 7】

【図 8】

【図 9】



【図 1 0】



【手続補正書】

【提出日】平成 8 年 1 月 3 1 日

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 4 8

【補正方法】変更

【補正内容】

【0 0 4 8】図 3 は、本発明の実施の形態によるさらに他の例の太陽電池セルを示している。図 3 の太陽電池セルは図 1 におけるような酸化膜 6 および 7 を含んでおらず、見かけ上は図 8 の従来のものに類似している。すなわち、図 3 の太陽電池セルにおいては Si/SiO_2 界

面がホットキャリアによって損傷されるという前述の問題（B 2）を生じることはないが、放射線照射によって出力劣化が生じるという前述の問題（B 1）は存在する。したがって、図 3 の太陽電池セルにおいても、酸素と結合力の大きい A 1 等をイオン注入して p^+ 層 3 a を形成することによって、耐放射線性の改善を図ることができる。なお、図 3 の実施の形態においてもイオン注入によって打込まれる原子として A 1 が用いられたが、 Si 原子よりも大きな原子半径を有しかつ酸素との結合性が比較的高い III 族元素のたとえば Ga を使用することもできる。

【手続補正書】

【提出日】平成 8 年 2 月 1 日

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 0 9

【補正方法】変更

【補正内容】

【0 0 0 9】次に、宇宙用 Si 太陽電池セルの耐放射線性について説明する。宇宙用太陽電池セルは、一般に、宇宙環境において高エネルギーを有する高密度の電子線、陽子線、中性子線、 α 粒子線、X 線、紫外線等の照射を受け、太陽電池セルの半導体基板結晶中に空格子点、空格子点と格子間不純物原子が結合した複合中心、およびこれらの欠陥のクラスター等が形成される。これらの照射欠陥は、電気的にはキャリアの再結合中心として働き、少数キャリアのライフタイムや拡散距離を短くし、太陽電池セルの性能を劣化させるように作用する。このような照射欠陥による作用を抑制するために、宇宙用 Si 太陽電池セルには、従来から以下のような対策（A 1）～

（A 3）が施されている。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 3 4

【補正方法】変更

【補正内容】

【0 0 3 4】なお、図 6 と図 7 の説明文において、ホットキャリアの振る舞いと本発明の効果をわかりやすく説明するために、紫外線（UV）によって生成されたホットキャリア（電子 e 、正孔 h ）自身が Si と酸化膜との界面において損傷を与えるがごとき表現を行なった。しかし、実際には太陽電池セルが動作しているときには Si 基板内に多数の電子 e と正孔 h が存在しているので、必ずしも発生したホットキャリアそれ自身が損傷を与えるのではなくてホットキャリアからエネルギーを受取った同種の別のキャリアが損傷を与えることが生じ得ることを付け加えておく。

【手続補正書】

【提出日】平成 8 年 2 月 6 日

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0010

【補正方法】変更

【補正内容】

【0010】(A1) 太陽電池セルが $n-on-p$ 型にされる。すなわち、本来的に電子の方が正孔よりもライフタイムや拡散距離が長いので、太陽電池セルを $p-on-n$ 型ではなくて $n-on-p$ 型にすることによって、照射欠陥による影響を比較的小さくすることができる。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0028

【補正方法】変更

【補正内容】

【0028】図 6 は、紫外線等による間接的影響を説明するためのエネルギーバンド構造図である。図 6 のエネルギーバンド構造は、図 10 の太陽電池セルにおいて半導体基板 1 と背面酸化膜 6 とが直接接触している位置におけ

る断面のバンド構造とホットキャリアの流れとを示している。符号 E_c は伝導帯の下端レベルを表わし、 E_v は価電子帯の上端レベルを表わし、そして E_f はフェルミレベルを表わしている。また、半導体基板 1 と背面酸化膜 6 との界面における “-” 印は、界面準位を表わしている。一般に、 Si/SiO_2 界面には、空乏領域が形成される。図 6 に示されているようなバンド構造を有する太陽電池セルが紫外線 (UV) の照射を受ければ、主に前面近傍でホットキャリア (電子 e および空孔 h) が発生する。これらのホットキャリアは、高いエネルギーを維持しつつ Si 基板 1 を通って Si/SiO_2 界面に達し、その界面の結合に損傷を与える。そして、この界面における損傷はキャリアの再結合中心として働く。すなわち、太陽光を吸収して発生した少数キャリアの電子が Si/SiO_2 界面の再結合中心を介して多数キャリアの正孔と再結合する確率が増大することになり、光電変換によって生じた少数キャリアを出力として太陽電池セルの外部へ有効に取出すことが困難となる。すなわち、背面パッシベーションの効果がホットキャリアによって損なわれることになる。